

**CRYSTAL GROWTH METHOD FOR GALLIUM NITRIDE-BASED SEMICONDUCTOR LAYER
CONTAINING INGAN LAYER, GALLIUM NITRIDE-BASED LIGHT-EMITTING ELEMENT, AND
MANUFACTURE THEREOF**

Patent number: JP11054847
 Publication date: 1999-02-26
 Inventor: KIMURA AKITAKA; SASAOKA CHIAKI
 Applicant: NEC CORP
 Classification:
 - International: H01S3/18; H01L33/00
 - european:
 Application number: JP19970213273 19970807
 Priority number(s):

Abstract of JP11054847

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent the dissociation of In in an InGaN growth layer and minimize the worsening of crystallinity of a growth layer by sequentially forming the InGaN layer and an AlGaIn layer at a particular substrate temperature, and by specifying the relations among the number of layers of AlGaIn layers, thickness of each layer and Al composition ratio of each layer.

SOLUTION: After the growth of an InGaN growth layer and an AlGaIn indium dissociation prevention layer at a substrate temperature of 600 deg.C to 900 deg.C, when the substrate is heated to temperature higher than or equal to 900 deg.C for the growth of GaN or the like, Ga atoms are evaporated from the AlGaIn indium dissociation prevention layer. Because of this, the AlGaIn indium dissociation prevention layer becomes an AlGaIn layer with the aluminum composition being greater than that prior to raising of the temperature, and this layer prevents the slip of In atoms. Here, the relations among the number of layers, thickness of each layer d_i ($i=1, \dots, N$), aluminum composition x_i ($i=1, \dots, N$) of each layer of an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ layer used as the indium dissociation prevention layer are so made so to satisfy the equation.

$$2[A] \leq \sum_{i=1}^N x_i d_i \leq 10[A]$$

Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁 (J.P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-54847

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月26日

(51) Int.Cl.

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-213273

(22) 出願日 平成9年(1997) 8月7日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 木村 明隆

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 笹岡 千秋

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

(54) 【発明の名称】 InGa_{1-x}N層を含む窒化ガリウム系半導体層の結晶成長方法および窒化ガリウム系発光素子およびその製造方法

(57) 【要約】

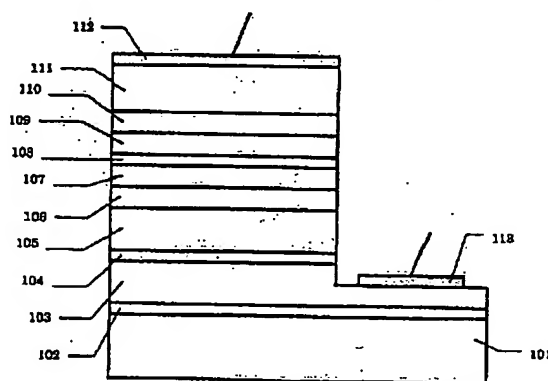
【課題】 比較的低温でInGa_{1-x}N層を形成した後に、基板の昇温に伴ってインジウムが解離することを防止し、かつ、InGa_{1-x}N層の結晶性の悪化を最小限にとどめることの出来る、InGa_{1-x}N層に続いて比較的低温で形成されるAl_{1-x}Ga_xN層(0 ≤ x ≤ 1)層の組成と厚さの範囲を明らかにする。

【解決手段】 基板温度600℃以上900℃以下で一層または複数層のInGa_{1-x}N層を形成した後に、連続して基板温度600℃以上900℃以下で一層または複数層のAl_{1-x}Ga_xN層(0 ≤ x ≤ 1)層を形成し、基板温度を900℃以上に昇温する。Al_{1-x}Ga_xN層(0 ≤ x ≤ 1)層の層数N、各層の厚さd_i(i = 1, . . . , N)、各層のアルミニウム組成x_i(i = 1, . . . , N)は、

【数1】

$$2[A] \leq \sum_{i=1}^N x_i d_i \leq 10[A]$$

なる関係を満たすように設計する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】InGa_xN層を含む窒化ガリウム系半導体層の結晶成長方法であって、基板温度600℃以上900℃以下でIn_xGa_{1-x}N層(0<x≤1)を少なくとも一層含む、一層または複数層のIn_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)を形成する工程と、前記工程と連続して基板温度600℃以上900℃以下でAl_xGa_{1-x}N層(0<x≤1)を少なくとも一層含む、一層または複数層のAl_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)を形成する工程と、基板温度を900℃以上にする工程とを、前記順序で少なくとも含み、かつ、前記Al_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)の層数N、各層の厚さd_i(i=1,...,N)、各層のアルミニウム組成x_i(i=1,...,N)の間に、

【数1】

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

なる関係が満たされることを特徴とする窒化ガリウム系半導体層の結晶成長方法。

【請求項2】請求項1記載の窒化ガリウム系半導体層の結晶成長方法であって、前記Al_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)が複数の層からなり、かつ、前記複数層のAl_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)のアルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加することを特徴とする窒化ガリウム系半導体層の結晶成長方法。

【請求項3】InGa_xN層を含む窒化ガリウム系発光素子の製造方法であって、基板温度600℃以上900℃以下でIn_xGa_{1-x}N層(0<x≤1)を少なくとも一層含む、一層または複数層のIn_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)を形成する工程と、前記工程と連続して基板温度600℃以上900℃以下でAl_xGa_{1-x}N層(0<x≤1)を少なくとも一層含む、一層または複数層のAl_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)を形成する工程と、基板温度を900℃以上にする工程とを、前記順序で少なくとも含み、かつ、前記Al_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)の層数N、各層の厚さd_i(i=1,...,N)、各層のアルミニウム組成x_i(i=1,...,N)の間に、

【数2】

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

なる関係が満たされることを特徴とする窒化ガリウム系発光素子の製造方法。

【請求項4】請求項3記載の窒化ガリウム系発光素子の製造方法であって、前記Al_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)が複数の層からなり、かつ、前記複数層のAl_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)のアルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加することを特徴とする窒化ガリウム系発光素子の製造方法。

ウム系発光素子の製造方法。

【請求項5】請求項3または4記載の窒化ガリウム系発光素子の製造方法であって、前記In_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)は活性層または発光層であることを特徴とする窒化ガリウム系発光素子の製造方法。

【請求項6】基板上と、前記基板上に基板温度600℃以上900℃以下で成長したIn_xGa_{1-x}N層(0<x≤1)を少なくとも一層含む、一層または複数層のIn_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)と、前記In_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)に続いて基板温度600℃以上900℃以下でAl_xGa_{1-x}N層(0<x≤1)を少なくとも一層含む、一層または複数層のAl_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)を成長した後に基板温度を900℃以上に形成したAl_xGa_{1-x}N層(0<x≤1)とを有し、前記Al_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)の層数N、各層の厚さd_i(i=1,...,N)、各層のアルミニウム組成x_i(i=1,...,N)の間に、

【数3】

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

なる関係が満たされることを特徴とする窒化ガリウム系発光素子。

【請求項7】請求項6記載の窒化ガリウム系発光素子であって、前記Al_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)が複数の層からなり、かつ、前記複数層のAl_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)のアルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加することを特徴とする窒化ガリウム系発光素子。

【請求項8】請求項6または7記載の窒化ガリウム系発光素子であって、前記In_xGa_{1-x}N層(0≤x≤1)活性層または発光層であることを特徴とする窒化ガリウム系発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般式In_xGa_{1-x}N(0<x≤1)で表される半導体層を少なくとも一層含む、一層あるいは複数層のIn_xGa_{1-x}N(0≤x≤1)を有する窒化ガリウム系半導体層の結晶成長方法に関する。

【0002】また一般式In_xGa_{1-x}N(0<x≤1)で表される半導体層を少なくとも一層含む、一層あるいは複数層のIn_xGa_{1-x}N(0≤x≤1)を有する窒化ガリウム系発光素子及びその製造方法に関する。

【0003】

【従来の技術】窒化ガリウムは、燐化インジウムや砒化ガリウムといった他の一般的な化合物半導体に比べ、禁制帯エネルギーが大きい。そのため、一般式In_xAl_yGa_{1-x-y}N(0≤x≤1, 0≤y≤1, 0≤x+y≤1)で表される半導体(以下窒化ガリウム系半導体)

は緑から紫外にかけての発光素子、特に半導体レーザ（以下単にレーザ）への応用が期待されている。

【0004】従来、窒化ガリウムの結晶成長には900℃程度以上の基板温度が必要であるにも関わらず、一般式 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) で表される半導体層の結晶成長は、インジウムの蒸気圧が高いために、比較的低温である600℃ないし900℃程度の基板温度で行われていた。

【0005】《従来例1》図10は、従来のInGaN層の結晶成長方法により、多重量子井戸構造の活性層が形成された、窒化ガリウム系レーザの概略断面図である（S. Nakamura et Al., Extended Abstracts of 1996 International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama, 1996, pp. 67-69）。図10に於いて、この窒化ガリウム系レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ300Å（オングストローム）のアンダーの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ3μmのN型窒化ガリウムコンタクト層103、珪素が添加された厚さ0.1μmのN型 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ クラック防止層104、珪素が添加された厚さ0.4μmのN型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層105、珪素が添加された厚さ0.1μmのN型窒化ガリウム光ガイド層106、厚さ25Å（オングストローム）のアンダーの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子井戸層と厚さ50Å（オングストローム）のアンダーの $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層107、マグネシウムが添加された厚さ200Å（オングストローム）のp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層608、マグネシウムが添加された厚さ0.1μmのp型窒化ガリウム光ガイド層109、マグネシウムが添加された厚さ0.4μmのp型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層110、マグネシウムが添加された厚さ0.2μmのp型窒化ガリウムコンタクト層111、ニッケル（第1層）および金（第2層）からなるp電極112、チタン（第1層）およびアルミニウム（第2層）からなるN電極113が形成されている。多重量子井戸構造活性層107およびp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層608は基板温度800℃で、p型窒化ガリウム光ガイド層109、p型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層110、p型窒化ガリウムコンタクト層111は基板温度1020℃で形成された。

【0006】《従来例2》図11は、従来のInGaN層の結晶成長方法により、発光層が形成された、従来の窒化ガリウム系発光ダイオードの概略断面図である（S. Nakamura et Al., Jpn. J. Appl. Phys. 32(1993)18）。図11に於いて、この窒化ガリウム系発光ダイオードは、(0001)面を表面とするサファイア基板201上に、厚さ250Å（オングストローム）のアンダーの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が

添加された厚さ4μmのN型窒化ガリウムコンタクト層103、珪素が添加された厚さ200Å（オングストローム）の $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 発光層207、マグネシウムが添加されたp型窒化ガリウムコンタクト層111、金からなるp電極212、アルミニウムからなるN電極213が形成されている。 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 発光層207およびアンダーの $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層608は基板温度800℃で、p型窒化ガリウムコンタクト層111は基板温度1020℃で形成された。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】図10に示された、従来のInGaN層の結晶成長方法により活性層が形成された窒化ガリウム系レーザに於いては、基板温度800℃での多重量子井戸構造活性層107の形成が終了した後、p型窒化ガリウム光ガイド層109を形成するために基板を1020℃まで昇温する際に、多重量子井戸構造活性層107中のインジウムが解離することを防止するために、多重量子井戸構造活性層107よりも表面側に、多重量子井戸構造活性層107に接して、多重量子井戸構造活性層107と同じ基板温度800℃で、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層608が形成されている。しかし、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) と $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$) は格子定数が異なるにも関わらず、従来例1では $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層608の厚さが200Å（オングストローム）と厚く、かつ、アルミニウム組成も0.2と大きいために、大きな格子歪が多重量子井戸構造活性層107に加わり、多重量子井戸構造活性層107の結晶性の悪化がもたらされている。一方、p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層608の厚さを薄く、または、アルミニウム組成を小さくした場合、基板の昇温により多重量子井戸構造活性層107中のインジウムが解離することを防止できない恐れがある。

【0008】図11に示された、従来のInGaN層の結晶成長方法により発光層が形成された窒化ガリウム系発光ダイオードに於いては、基板温度800℃での $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 発光層207の形成が終了した後、p型窒化ガリウムコンタクト層111を形成するために基板を1020℃まで昇温する際に、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 発光層207中のインジウムが解離し、設計値通りの発光波長で発光しない恐れがある。

【0009】本発明の目的は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の比較的低温で形成された $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) を有する窒化ガリウム系半導体層の中のインジウムが、基板温度を900℃以上とすることに伴って解離するのを防止し、かつ、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) の結晶性の悪化を最小限にとどめることのできる、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) よりも表面側に、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) に接して、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも

も一層含む、一層または複数層の比較的低温で形成される $Al_x Ga_{1-x} N$ インジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) の組成と厚さの範囲を明らかにすることによって、結晶性の良い $In_x Ga_{1-x} N$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) を形成できる結晶成長方法を提供することである。

【0010】さらに、このような結晶成長方法を用いて、しきい値電流などの特性の良い窒化ガリウム系発光素子を提供することである。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化ガリウム系半導体の結晶成長方法は、基板温度 600°C 以上 900°C 以下で $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) を形成する工程と、前記工程と連続して基板温度 600°C 以上 900°C 以下で $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) を形成する工程と、基板温度を 900°C 以上にする工程とを、前記順序で少なくとも含み、かつ、前記 $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) の層数 N 、各層の厚さ d_i ($i = 1, \dots, N$)、各層のアルミニウム組成 x_i ($i = 1, \dots, N$) の間に、

【0012】

【数4】

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^N x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

【0013】なる関係が満たされることを特徴とする。

【0014】また、前記 $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) が複数層の層からなり、かつ、前記複数層の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) のアルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加することを特徴とする。

【0015】本発明の窒化ガリウム系発光素子の製造方法は、基板温度 600°C 以上 900°C 以下で $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) を形成する工程と、前記工程と連続して基板温度 600°C 以上 900°C 以下で $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) を形成する工程と、基板温度を 900°C 以上にする工程とを、前記順序で少なくとも含み、かつ、前記 $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) の層数 N 、各層の厚さ d_i ($i = 1, \dots, N$)、各層のアルミニウム組成 x_i ($i = 1, \dots, N$) の間に、

【0016】

【数5】

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^N x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

【0017】なる関係が満たされることを特徴とする。

【0018】また前記 $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) が複数層の層からなり、かつ、前記複数層の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) のアルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加することを特徴とする。

【0019】本発明の窒化ガリウム系発光素子は、基板と、前記基板に基板温度 600°C 以上 900°C 以下で成長した $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) と、前記 $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) に続いて基板温度 600°C 以上 900°C 以下で $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) を成長した後に基板温度を 900°C 以上にして形成した $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) とを有し、前記 $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) の層数 N 、各層の厚さ d_i ($i = 1, \dots, N$)、各層のアルミニウム組成 x_i ($i = 1, \dots, N$) の間に、

【0020】

【数6】

$$2[\text{\AA}] \leq \sum_{i=1}^N x_i d_i \leq 10[\text{\AA}]$$

【0021】なる関係が満たされることを特徴とする。

【0022】また前記 $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) が複数層の層からなり、かつ、前記複数層の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) のアルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加することを特徴とする。

【0023】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態について、図面を参照して詳しく説明する。本実施の形態では、基板上に比較的低温で形成された $In_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $In_x Ga_{1-x} N$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) と記す) 中のインジウムが、基板の昇温に伴って解離することを防止するために、 $In_x Ga_{1-x} N$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) よりも表面側に、 $In_x Ga_{1-x} N$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$) に接して、比較的低温で形成される $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 < x \leq 1$) を少なくとも一層含む、一層または複数層の $Al_x Ga_{1-x} N$ 層 ($0 \leq x \leq 1$) (以下、 $Al_x Ga_{1-x} N$ インジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) と記す) を形成している。

【0024】通常 GaN の成長は 1000°C 程度以上の基板温度で行うが、これは N 原子のみならず、 Ga 原子もまた蒸発する温度である。しかし、 Al 原子の蒸発にはさらに高温 (1200°C 程度以上) が必要となる。したがって基板温度 600°C 以上 900°C 以下で $In_x Ga_{1-x} N$ 成長層 ($0 \leq x \leq 1$)、 $Al_x Ga_{1-x} N$ インジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) を成長した後に、 GaN 等の成長のために基板を 900°C 以上にした場合、 G

a原子が $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) から蒸発する。このため、 $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) は昇温前よりAl組成が大きくなった $Al_x Ga_{1-x}$ N層 ($0 < x \leq 1$) となり、この層がIn原子の抜けを防止する。なおGaの蒸発の割合は、 $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) を形成した際の温度、昇温後の温度、昇温の速さ、昇温してから成長を始めるまでの待機時間などに依存して変化する。

【0025】ここで昇温時に作成されたAl組成が大きくなった $Al_x Ga_{1-x}$ N層 ($0 < x \leq 1$) は、格子定数が $In_x Ga_{1-x}$ N成長層 ($0 \leq x \leq 1$) と異なるため、 $In_x Ga_{1-x}$ N成長層 ($0 \leq x \leq 1$) の結晶性に悪化を与えることになる。

【0026】この結晶性の悪化の影響を最小限にとどめるために、Ga原子の蒸発によってAl組成が大きくなった $Al_x Ga_{1-x}$ N層 ($0 < x \leq 1$) のパラメータとして $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) におけるAl組成と層厚の積に着目した。 $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) のAl組成と層厚が $In_x Ga_{1-x}$ N成長層 ($0 \leq x \leq 1$) 層に与える影響を調べるため、 $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) の組成と厚さをAl組成0.1、厚さが25Å (オングストローム) の $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ N層 (試料1)、Al組成0.1、厚さが50Å (オングストローム) の $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ N層 (試料2)、Al組成0.1、厚さが100Å (オングストローム) の $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ N層 (試料3) とする3種類の試料を作成した。

【0027】以下、 $In_x Ga_{1-x}$ N成長層 ($0 \leq x \leq 1$) 層に接して形成する $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) の組成と厚さの最適な範囲について説明する。

【0028】図5は、作成した3種類の試料に共通な概略断面図である。図5に於いて、試料は、有機金属化学気相成長法により、厚さ330μmの(11-20)面を表面とするサファイア基板上101に、窒化ガリウム低温バッファ層102、アンドープの厚さ1μmの窒化ガリウム層501、基板温度650℃でアンドープの厚さ30Å (オングストローム) の $In_{0.2} Ga_{0.8}$ N量子井戸層とアンドープの厚さ90Å (オングストローム) の窒化ガリウム障壁層とからなる5周期の多重量子井戸構造502、アンドープの $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ Nインジウム解離防止層503を形成し、基板温度1050℃に昇温した後、アンドープの厚さ0.1μmの窒化ガリウム層504を形成した。

【0029】図6は、図5に示された $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ N層503の厚さが25Å (オングストローム) の試料1、図7は $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ N層503の厚さが50Å (オングストローム) の試料2、図8は、 $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ N層503の厚さが100Å (オングストローム) の試料3の室温に於けるpLスペクトルの測定結果である。pLスペクトルの測定に於ける励起光源としては、波長325nmのHe-Cdレーザを用いた。

【0030】従来例の $Al_{0.2} Ga_{0.8}$ N層608は厚さ200Å (オングストローム) 、アルミニウム組成0.2であるが、 $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) の厚さとアルミニウム組成の積を従来例の $Al_{0.2} Ga_{0.8}$ N層608より小さくしても、インジウムの解離を防止するという目的に支障がない場合は、厚さとアルミニウム組成の積を小さくした方が必要な格子歪がInGaIn層に導入されないため望ましい。

【0031】しかし、組成と厚さの積が2Å (オングストローム) 程度以下になると、基板昇温時にGa原子が $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) から全て蒸発した場合に、単原子層未満の窒化アルミニウム (AlN) しか残らないため、インジウムの解離を防止するという目的に支障がある。したがって成長する $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) のAl組成と厚さの積の下限は2Å (オングストローム) より大きいことが望ましい。

【0032】一方、試料1~3に於いて、図6に示されたpLスペクトルの半値全幅は105meV、図7に示されたpLスペクトルの半値全幅は85meV、図8に示されたpLスペクトルの半値全幅は120meVであって、図7に比べ図6および図5に示されたpLスペクトルの半値全幅が広くなる。

【0033】試料1~3のpLスペクトルの測定結果から得られた、 $Al_{0.1} Ga_{0.9}$ Nインジウム解離防止層の厚さとpLスペクトルの半値全幅の関係を示すグラフを図9に示す。窒化ガリウム系レーザのしきい値電流密度と、その活性層の室温に於けるpLスペクトルの半値全幅は密接な関係があり、しきい値電流密度を2kA/cm²程度以下を実現するためには、その活性層の室温に於けるpLスペクトルの半値全幅が120meV程度以下であることが望ましい。 $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) のAl組成と層厚の積が大きくなると、必要な歪が $In_x Ga_{1-x}$ N成長層 ($0 \leq x \leq 1$) に加わりpLスペクトルの半値全幅に影響を与えることになる。したがって、 $Al_x Ga_{1-x}$ Nインジウム解離防止層 ($0 \leq x \leq 1$) の厚さとアルミニウム組成の積の上限は10Å (オングストローム) より小さいことが望ましい。

【0034】このようにインジウム解離防止層として用いる $Al_x Ga_{1-x}$ N層 ($0 \leq x \leq 1$) の層数N、各層の厚さ d_i ($i=1, \dots, N$)、各層のアルミニウム組成 x_i ($i=1, \dots, N$) の関係が、次の

(1) 式

【0035】

【数7】

$$2[A] \leq \sum_{i=1}^n x_i d_i \leq 10[A]$$

【0036】を満たす範囲であればよいことがわかる。

【0037】なお、図9において、Al組成0.1の場合の層厚として60Å（オングストローム）付近でPLスペクトル半値全幅（meV）が最も小さくなるのはインジウムの蒸発防止と不要な歪の低減という2つのトレードオフからもたらされるものである。

【0038】以下に、本発明の実施の形態を適用した実施例を説明する。

【0039】《実施例1》図1は、実施の形態で説明したインジウム解離防止層の組成と層厚の関係を適用して形成された、本発明の窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。図1に於いて、この窒化ガリウム系レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ300Å（オングストローム）のアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ3μmのN型窒化ガリウムコンタクト層103、珪素が添加された厚さ0.1μmのN型In_{0.05}Ga_{0.95}Nクラック防止層104、珪素が添加された厚さ0.4μmのN型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nクラッド層105、珪素が添加された厚さ0.1μmのN型窒化ガリウム光ガイド層106が形成され、基板温度800℃で厚さ25Å（オングストローム）のアンドープのIn_{0.2}Ga_{0.8}N量子井戸層と厚さ50Å（オングストローム）のアンドープのIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層107、マグネシウムが添加された厚さ50Å（オングストローム）のp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N層108が形成され、その後基板温度1020℃でマグネシウムが添加された厚さ0.1μmのp型窒化ガリウム光ガイド層109、マグネシウムが添加された厚さ0.4μmのp型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nクラッド層110、マグネシウムが添加された厚さ0.2μmのp型窒化ガリウムコンタクト層111が形成されている。p電極112には、ニッケル（第1層）および金（第2層）を用い、N電極113には、チタン（第1層）およびアルミニウム（第2層）を用いている。

【0040】実施例1に於いては、Al_{0.1}Ga_{0.9}N層108の厚さとして50Å（オングストローム）を、アルミニウム組成として0.1を採用することにより、Al_{0.1}Ga_{0.9}N層108により多重量子井戸構造活性層107中のインジウムの解離を防止することと、Al_{0.1}Ga_{0.9}N層108による多重量子井戸構造活性層107の結晶性の悪化を最小限にとどめることを両立させた。そのため、従来例1に示された従来のInGaIn層の結晶成長方法により活性層が形成された窒化ガリウム系レーザに比べ、低い発振しきい値電流が実現される。

【0041】《実施例2》図2は、本発明のInGaIn層の結晶成長方法を用いて発光層が形成された、本発明の窒化ガリウム系発光ダイオードの概略断面図である。

図2に於いて、この窒化ガリウム系発光ダイオードは、(0001)面を表面とするサファイア基板201上に、厚さ250Å（オングストローム）のアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ4μmのN型窒化ガリウムコンタクト層103が形成され、基板温度800℃で珪素が添加された厚さ200Å（オングストローム）のIn_{0.2}Ga_{0.8}N発光層207、厚さ25Å（オングストローム）のアンドープのAl_{0.2}Ga_{0.8}N層208が形成され、基板温度1020℃でマグネシウムが添加されたp型窒化ガリウムコンタクト層111が形成されている。p電極212には金、N電極213にはアルミニウムが用いられている。

【0042】実施例2に於いては、Al_{0.2}Ga_{0.8}N層208の厚さとして25Å（オングストローム）を、アルミニウム組成として0.2を採用することにより、Al_{0.2}Ga_{0.8}N層208によりIn_{0.2}Ga_{0.8}N発光層207中のインジウムの解離を防止することと、Al_{0.2}Ga_{0.8}N層208によるIn_{0.2}Ga_{0.8}N発光層207の結晶性の悪化を最小限にとどめることを両立させたため、従来例2に示された従来のInGaIn層の結晶成長方法により発光層が形成された窒化ガリウム系発光ダイオードに比べ、設計値通りの発光波長および狭い半値全幅の発光スペクトルが実現される。

【0043】《実施例3》図3は、本発明のInGaIn層の結晶成長方法を用いて活性層が形成された、本発明の窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。図3に於いて、この窒化ガリウム系レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ300Å（オングストローム）のアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ3μmのN型窒化ガリウムコンタクト層103、珪素が添加された厚さ0.1μmのN型In_{0.05}Ga_{0.95}Nクラック防止層104、珪素が添加された厚さ0.4μmのN型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nクラッド層105、珪素が添加された厚さ0.1μmのN型窒化ガリウム光ガイド層106が形成され、基板温度800℃で、厚さ25Å（オングストローム）のアンドープのIn_{0.2}Ga_{0.8}N量子井戸層と厚さ50Å（オングストローム）のアンドープのIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層107が形成され、その後、基板温度1020℃でマグネシウムが添加された厚さ50Å（オングストローム）のp型AlGaIn層308、マグネシウムが添加された厚さ0.1μmのp型窒化ガリウム光ガイド層109、マグネシウムが添加された厚さ0.4μmのp型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nクラッド層110、マグネシウムが添加された厚さ0.2μmのp型

窒化ガリウムコンタクト層111が形成される。p電極112には、ニッケル(第1層)および金(第2層)を、N電極113には、チタン(第1層)およびアルミニウム(第2層)が用いられている。

【0044】p型AlGaIn層308はそれぞれ異なるアルミニウム組成の複数の層からなっている。p型AlGaIn層308の詳細を示す概略断面図を図4に示す。図4に於いて、p型AlGaIn層308は、マグネシウムが添加された厚さ10Å(オングストローム)のp型 $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ 層401、マグネシウムが添加された厚さ10Å(オングストローム)のp型 $Al_{0.075}Ga_{0.925}N$ 層402、マグネシウムが添加された厚さ10Å(オングストローム)のp型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 層403、マグネシウムが添加された厚さ10Å(オングストローム)のp型 $Al_{0.125}Ga_{0.875}N$ 層404、マグネシウムが添加された厚さ10Å(オングストローム)のp型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$ 層405からなる。

【0045】実施例3に於いては、AlGaIn層308を、アルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加する、それぞれ厚さ10Å(オングストローム)の5層により構成することにより、前記AlGaIn層308により多重量子井戸構造活性層107中のインジウムの解離を防止することと、前記AlGaIn層308による多重量子井戸構造活性層107の結晶性の悪化を最小限にとどめることを両立させた。そのため、実施例1に示された本発明のInGaIn層の結晶成長方法により活性層が形成された窒化ガリウム系レーザに比べても、さらに低い発振しきい値電流が実現される。

【0046】上記実施例1および実施例3に記載の窒化ガリウム系レーザ及び実施例2に記載の窒化ガリウム系発光ダイオードは、(11-20)面を表面とするサファイア基板上に形成されているが、(0001)面を表面とするサファイア基板上に形成しても、本発明の実施に支障はない。

【0047】さらに、上記実施例1〜3に記載の窒化ガリウム系発光素子は、(0001)面または(11-20)面を表面とするサファイア基板上に形成しなくとも、例えば炭化珪素基板あるいは $MgAl_2O_4$ 基板あるいは窒化ガリウム基板あるいは(0001)面および(11-20)面以外の面を表面とするサファイア基板といった他の基板上に形成した場合も、本発明の実施に支障はない。

【0048】また、本発明の実施は上記実施例に示された構造の窒化ガリウム系発光素子に限られるのではなく、各層の層厚や各層の組成や各層のドーピング温度や電極材料などの様々な組み合わせの窒化ガリウム系発光素子に於いて支障はない。

【0049】また、インジウムの解離を防止する $Al_{1-x}Ga_xIn_xN$ 層($0 \leq x \leq 1$)は、上記実施例1および実施例3に示されたようなマグネシウムが添加されたp

型、あるいは上記実施例2に示されたようなアンドープである必要はなく、珪素などが添加されたN型であっても、本発明の実施に支障はない。

【0050】また、インジウムの解離を防止する $Al_{1-x}Ga_xIn_xN$ 層($0 \leq x \leq 1$)は、アルミニウム組成の異なる複数の層からなっている、たとえそれが上記実施例3に示されたようなアルミニウム組成が基板側から表面側にかけて増加するものでなくとも、実施例1に示された窒化ガリウム系レーザの単層の $Al_{1-x}Ga_xIn_xN$ 層($0 \leq x \leq 1$)と同等の効果はある。また実施例2にも適用可能である。

【0051】また $Al_{0.1}Ga_{0.9}NonGaIn$ on $Al_{0.2}Ga_{0.8}NonGaIn$ のような多層膜のインジウム解離層では各Al組成と膜厚を考慮し、かつ、600℃以上900℃以下の比較的低温で多層膜を成長しておけばよい。

【0052】なお、本実施例では、 $In_xGa_{1-x}N$ 成長層($0 \leq x \leq 1$)を活性層または発光層とした場合について記載したが、これに限られるものではない。

【0053】

【発明の効果】本発明は、 $In_xGa_{1-x}N$ 層($0 < x \leq 1$)を少なくとも一層含む、一層または複数層の $In_xGa_{1-x}N$ 成長層($0 \leq x \leq 1$)を有する窒化ガリウム系半導体層において、基板温度が900℃以上になっても、インジウムの解離を防止することができ、かつ、 $In_xGa_{1-x}N$ 成長層($0 \leq x \leq 1$)の結晶性の悪化を最小限にとどめることができる。

【0054】また結晶性の良い $In_xGa_{1-x}N$ 成長層($0 \leq x \leq 1$)を形成できるため、しきい値電流などの特性の良い発光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1に示された、本発明のInGaIn層の結晶成長方法を用いて活性層が形成された、本発明の窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

【図2】実施例2に示された、本発明のInGaIn層の結晶成長方法を用いて発光層が形成された、本発明の窒化ガリウム系発光ダイオードの概略断面図である。

【図3】実施例3に示された、本発明のInGaIn層の結晶成長方法を用いて活性層が形成された、本発明の窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

【図4】図7に示された本発明の窒化ガリウム系レーザのAlGaInインジウム解離防止層の概略断面図である。

【図5】試料1〜3の概略断面図である。

【図6】試料1のPLスペクトルの測定結果を示すグラフである。

【図7】試料2のPLスペクトルの測定結果を示すグラフである。

【図8】試料3のPLスペクトルの測定結果を示すグラフである。

【図9】試料1~3に於ける、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ インジウム解離防止層の厚さとPLスペクトルの半値全幅の関係を示すグラフである。

【図10】従来の技術を用いた窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

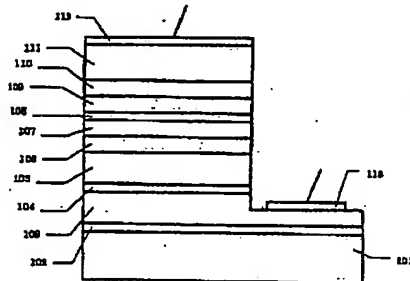
【図11】従来の技術を用いた窒化ガリウム系発光ダイオードの概略断面図である。

【符号の説明】

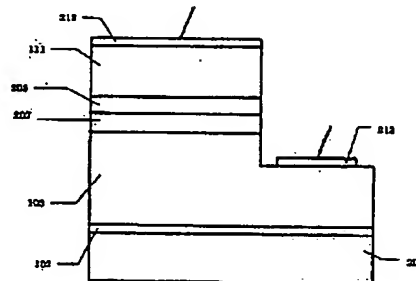
- 101 (11-20)面を表面とするサファイア基板
 102 窒化ガリウム低温成長バッファ層
 103 N型窒化ガリウムコンタクト層
 104 N型 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ クラッド防止層
 105 N型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層
 106 N型窒化ガリウム光ガイド層
 107 多重量子井戸活性層
 108 p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層
 109 p型窒化ガリウム光ガイド層
 110 p型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ クラッド層

- 111 p型窒化ガリウムコンタクト層
 112 ニッケルおよび金からなるp電極
 113 チタンおよびアルミニウムからなるN電極
 201 (0001)面を表面とするサファイア基板
 207 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 発光層
 208 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層
 212 金からなるp電極
 213 アルミニウムからなるN電極
 308 p型 AlGaIn 層
 401 p型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層
 402 p型 $\text{Al}_{0.075}\text{Ga}_{0.925}\text{N}$ 層
 403 p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層
 404 p型 $\text{Al}_{0.125}\text{Ga}_{0.875}\text{N}$ 層
 405 p型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層
 501 窒化ガリウム層
 502 多重量子井戸構造
 503 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層
 608 p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層

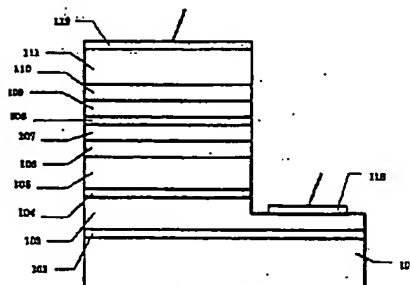
【図1】



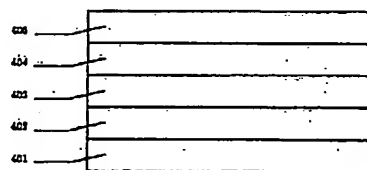
【図2】



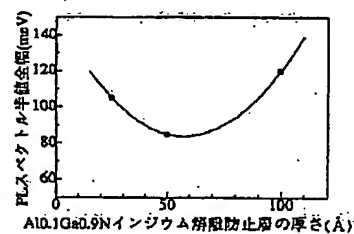
【図3】



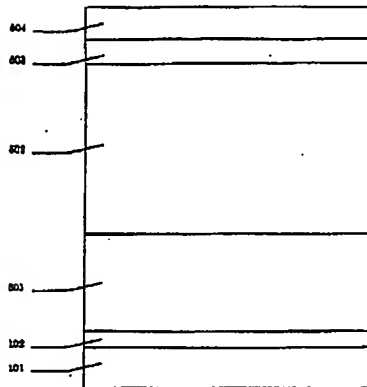
【図4】



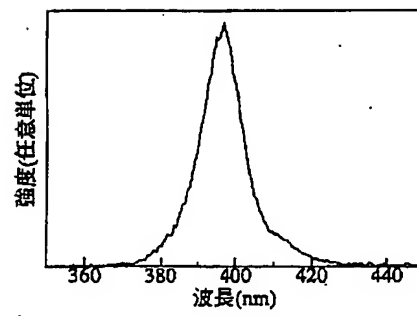
【図9】



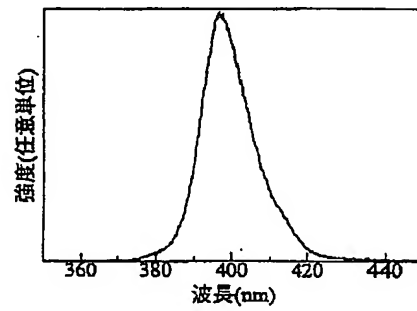
【図5】



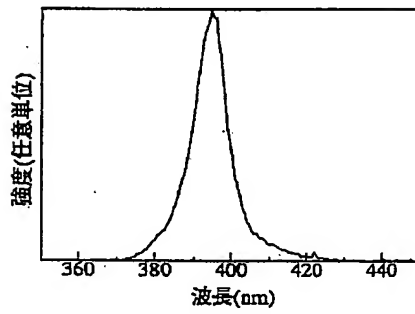
【図6】



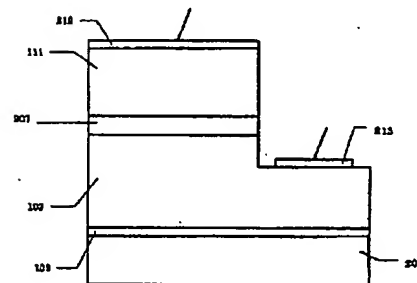
【図8】



【図7】



【図11】



【図10】

